

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	GaN-HEMTにおけるモデリング及び高周波増幅器に関する研究
Title(English)	Research on Modeling and High-Frequency Amplifiers in GaN-HEMT
著者(和文)	山口裕太郎
Author(English)	Yuutarou Yamaguchi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第12号, 授与年月日:2024年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:鈴木 左文,宮本 恭幸,岡田 健一,角嶋 邦之,白根 篤史
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第12号, Conferred date:2024/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	山口裕太郎	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	鈴木左文	教授	白根篤史	准教授
	審査員	宮本恭幸	教授		
		岡田健一	教授		
		角嶋邦之	准教授		

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は”GaN-HEMT におけるモデリング及び高周波増幅器に関する研究 (Research on Modeling and High-Frequency Amplifiers in GaN-HEMT)”と題し、和文 6 章から構成されている。

第 1 章の”序論”では、安全安心な社会の実現に向けてレーダがキーテクノロジーの一つであり、そのレーダシステムではマイクロ波の送受信、探知距離拡大、想定外の過入力に対する耐性が求められることを説明している。それらの要求に応えるために、レーダ用モジュールにおける高出力増幅器(HPA)、及び、低雑音増幅器(LNA)の半導体材料として、高周波動作可能で高出力・高耐電力な特性を有する Gallium Nitride (GaN)が有望であることを説明している。GaN-HEMT (High Electron Mobility Transistor)を用いた GaN 増幅器の開発はトランジスタ開発、モデリング、回路開発の流れで進められることを説明している。本論文はモデル開発と回路開発を研究対象としており、トラップの影響のモデリング、基板材料の影響のモデリング、トラップによる過渡的出力電力低下の補償、出力電力選択可能な増幅器の実現の 4 つの技術課題に関する研究を行ったことを説明している。さらに、これらの技術課題を解決することで GaN 増幅器の開発及び実用化の促進に寄与できると説明している。

第 2 章の”トラップの影響を考慮したトランジスタモデル”では、トラップの非線形容量への影響を考慮した GaN-HEMT の大信号トランジスタモデルを提案している。本提案モデルは従来のドレイン電流への影響のみを考慮したモデルよりも高精度に実測の大信号特性を再現し、特に AM-PM 特性の精度が大きく改善している。本モデルを用いることで AM-AM 特性だけでなく AM-PM 特性も考慮した増幅器の回路設計が可能になることを説明している。

第 3 章の”Si 基板上 GaN-HEMT の半物理的トランジスタモデル”では、GaN-on-Si 向けに基板中の容量結合電流の温度依存性を半物理的に考慮した大信号トランジスタモデルを提案している。大信号特性における容量結合電流の影響をモデル化するために、ドレイン端子とソース端子の間に C-R-C 回路を追加している。この C-R-C 回路内の抵抗と容量は、電子およびホール濃度の濃度、移動度、電極幅などの物理的パラメータを用いた物理式ベースで表現している。検証の結果、提案モデルはパワースイープ特性の温度依存性を高精度に再現し、大信号特性のドレイン電極幅依存性に関しても実測と概ね一致することを確認している。本モデルを用いることで温度特性を含めたトランジスタ構造や増幅器の設計が可能になることを説明している。

第 4 章の”トランジスタモデルに基づくトラップ補償回路を有する増幅器の設計”では、GaN LNA 向けにトラップに起因する過渡的出力電力低下(リカバリ特性)を補償する回路(TECC)を提案している。TECC の動作原理について解析式を用いて説明し、トラップの影響を考慮したトランジスタモデルを用いて回路を設計している。TECC を装荷した GaN LNA を試作し、そのリカバリ特性を測定した結果、TECC 適用によって室温と高温の両方でリカバリ特性が改善することを実証している。提案した TECC は、GaAs LNA の GaN LNA への置き換えを可能にし、レーダ受信機の性能向上に貢献できると説明している。

第 5 章の”トランジスタモデルに基づく出力電力選択可能な増幅器の設計”では、トランジスタのゲート幅を変更しても、回路基板の再設計はせずにワイヤ調整のみで所望の出力電力を得ることが可能なセミカスタム HPA を提案している。本章では回路の調整パラメータを決定するための設計式を導出し、この設計式とトランジスタモデルを用いて S 帯セミカスタム HPA を設計している。試作及び評価した結果、セミカスタム HPA はゲート幅変更前の標準 HPA と同等レベルの効率を得ており、セミカスタム HPA の有効性を実証している。よって、セミカスタム HPA は多品種展開に有効であると説明している。

第 6 章の”結論と今後の展望”では、本論文の結論と今後の展望をまとめている。第 2 章から第 5

章で提案した技術の産業的な視点での価値と今後の展望を述べている。本論文の研究成果は GaN の効率的な開発及び実用化の促進に寄与し、安全安心な社会の実現に貢献できると説明している。

以上、GaN-HEMT におけるトラップや基板材料の影響について、物理現象の理解を元にトランジスタモデルに落とし込み、高精度な回路設計を実現すると共に、新たなトラップ補償回路や、回路の再設計を必要としない出力電力選択可能な増幅器を提案、実証した。これらは、レーダシステムのレーダ用モジュールにおける HPA と LNA の半導体材料として GaN が有望であることを示し、さらに、効率的な開発と実用化を可能とするものであり、工業上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学術論文として価値あるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。